

Kleiner Netzwerkanalysator V4.0

Der KNWA 4.0 entstand im Zusammenhang mit der Entwicklung des Tools "[Verkürzter Dipol](#)". Dabei stellte sich heraus, dass sich das Verhalten einer unbeschalteten Induktivität allein mit den Parametern L , QL und Cp nicht mit den S21-Messungen des VNA in Übereinstimmung bringen lässt, denn die gemessenen Dämpfungswerte sind deutlich niedriger als die mit dem KNWA berechneten.

Nur wenn man L mit einer externen Kapazität C beschaltet die wesentlich größer ist als die Spulenkapazität Cp , so entspricht der vom KNWA berechnete Dämpfungsverlauf in guter Näherung der Realität. Dann wird Cp quasi von C "geschluckt" und es handelt sich um einen echten Parallelschwingkreis.

Um diesen Widerspruch aufzulösen hat das Bauelement "Induktivität" einen weiteren Parameter erhalten: QCp , der "Gütefaktor" der Parallelkapazität Cp .

Nur mit QCp kann eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen Theorie und Praxis auch dann erzielt werden, wenn es sich um eine alleinstehende Induktivität (ohne äußere Beschaltung) handelt (siehe unten *Beispiel 13.ama*).

Beim Einfügen einer neuen Induktivität wird QCp zunächst mit dem Wert 10000 initialisiert und ist somit quasi wirkungslos. Solange du QCp nicht deutlich verkleinerst entspricht das Verhalten der Schaltung dem in älteren KNWA-Versionen.

Als weitere praktisch nützliche Verbesserungen habe ich die Anzeigebereiche der SWR- und S21-Wobbelkurven erweitert ($SWR_{max} = 20$ und $dB_{max} = 60$).

Über eine Lupenfunktion können aber auch kleinere Bereiche ($SWR_{max} = 10$ bzw. $dB_{max} = 15$) eingestellt werden.

Abwärtskompatibilität ist gewährleistet

Wer bereits mit den älteren KNWA-Versionen 3.x gearbeitet hat muss sich keine Sorgen machen, denn der fehlende Parameter QCp wird automatisch hinzugefügt und mit $QCp = 10000$ initialisiert, sodass die Schaltungseigenschaften nicht beeinflusst werden.

Ältere Dateien lassen sich also unverändert weiter verwenden.

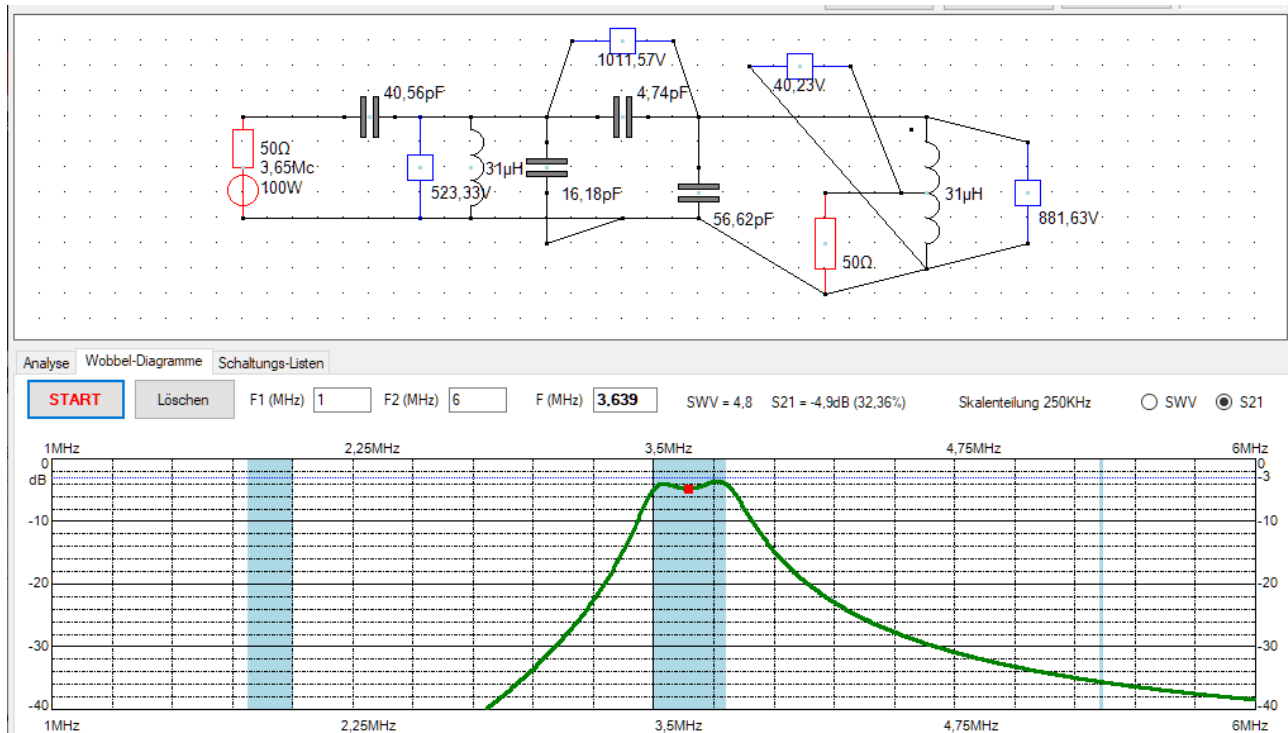
Umgekehrt geht es nicht, wer also noch weiter mit seiner alten V3.x arbeiten will, der kann die mit der neuen V4.0 erzeugten Dateien nicht mehr aufrufen wenn sie eine oder mehr Bauelemente vom Typ "L" beinhalten (Fehlermeldung).

Beispiel 1: Bandpass für das 80m-Band

Lade über **Datei/Öffnen** die Datei *Beispiel 1.ama*. Das Schaltbild ist bewusst etwas "chaotisch" gezeichnet, um zu zeigen, dass die Bauelemente beliebig gedreht und frei platziert werden können und z.B. auch Leitungsüberkreuzungen möglich sind.

Wähle (unten links) den Reiter "Wobbel-Diagramme", klicke ganz rechts die Option "S21" und dann den **START**-Button.

Nun kannst du das Frequenzlineal im Diagramm bewegen und dir die aktuellen Werte für Durchgangsdämpfung und eingangsseitiges SWV anzeigen lassen.



Der Verlauf der Wobbelkurve entspricht dem einer 2-Port-Durchgangsmessung mit dem VNA.

Klickst du auf den **Analyse**-Reiter und anschließend wieder auf **START** so siehst du ganz unten im Ergebnistableau die wichtigsten Betriebsparameter der mit einem Generatorwiderstand R_G und einer Lastimpedanz Z_A abgeschlossenen Schaltung bezogen auf die im Fenster oben links eingetragene Hauptfrequenzmarke (3,65MHz):

	F(MHz)	Vp(dB)	Vu(dB)	RLoss(dB)	SWRe	ZeIn(Ohm)	SWRa	Zaus(Ohm)	S11	S21
▶	3.65	-4.9 (32.37%)	-10.92 (176.94°)	3.66	4.82	228.08 -j52.64 (Cs = 828.31pF)	4.69	10.66 +j0.81 (Ls = 0.04μH)	-3.66dB 174.25°	-4.9dB 176.94°

Bedeutung der Betriebsparameter:

Vp(dB):	Betriebsleistungsverstärkung bzw. Transmissions (mit umgekehrtem VZ = Durchgangsdämpfung)
Vu(dB):	Spannungsverstärkung
RLoss(dB):	Rückflussdämpfung (entspricht dem Betrag von S11)
SWRe:	Eingangsseitiges Stehwellenverhältnis
ZeIn(Ohm):	Eingangsimpedanz (Messwert, Generator abgetrennt)
SWRa:	Ausgangsseitiges Stehwellenverhältnis
Zaus(Ohm):	Ausgangsimpedanz (Messwert, Antenne abgetrennt)
S11, S22:	S-Parameter (Ein- bzw. Ausgangsreflexion, z.B. mit NanoVNA messbar)

Wichtig:

Im obigen Schaltbild ist die (rot gezeichnete) Lastimpedanz Z_A ein reeller 50Ohm-Abschlusswiderstand.

Handelt es sich aber z.B. um eine Antenne, so haben wir es mit einer komplexen Lastimpedanz $Z_A = R_A + jX_A$ zu tun.

In diesem Fall muss sich das antennenseitige SWR auf R_A beziehen und jX_A wird zur Blindkomponente der Ausgangsimpedanz Z_{aus} hinzuaddiert (siehe **Beispiel 12 vna**).

Z_{aus} ist die Impedanz, die man bei abgetrenntem Z_A (Antenne) von hinten in das Kabel hinein messen würde.

Alle anderen Definitionen des antennenseitigen SWR sind kontraproduktiv bzw. führen in die Irre (siehe am Ende Korrespondenz mit Hans, DJ7BA).

Beispiel 1 vna: Verwendung des "VNA"-Baelements

Wenn der Abschlusswiderstand R_A des Filters unbekannt ist, kann man diesen mit Hilfe des "VNA"-Baelements indirekt über eine Messung der Eingangsimpedanz Z_E ermitteln (*Beispiel 1 vna.ama*).

Ersetze im Designer "RG" durch das blaue "VNA"-Baelement. Dessen erster Parameter, der Systemwiderstand $R_G = 50\text{Ohm}$, ist bereits fest eingetragen.

Mit Deinem realen VNA musst du nun die Eingangsimpedanz des Filters messen.

Wir nehmen mal an, dies wäre der Wert $228,1 - j52,6 \text{ Ohm}$.

Beide Werte trägst du nun in die "VNA"-Parameterliste ein.

Da die Abschlussimpedanz Z_A als unbekannt angenommen wird, sind deren Parameter zunächst egal, sie werden nach Klick auf "START" durch das Programm korrigiert.

Parameter	Value
Re(Ohm)	228.1
jXe(Ohm)	-52.6

In unserem Fall wird für Z_A erwartungsgemäß der Wert 50Ohm berechnet und angezeigt. Auch im Ergebnisgitter (unterer Fensterrand) erscheint jetzt für Z_{ein} der gemessene Wert. die übrigen Anzeigen im Ergebnisgitter sind identisch.

Einzige Unterschiede in der Designer-Ansicht sind nur das blaue VNA-Baelement anstatt RG sowie die Nullwerte der Voltmeter.

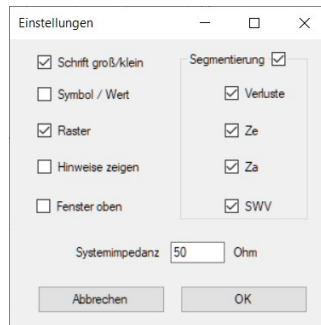
Dieses einfache Beispiel dient lediglich als "Beweis" für die Richtigkeit der Lösung des nicht ganz trivialen mathematischen Problems "Berechnung der Abschlussimpedanz einer Schaltung bei bekannter Eingangsimpedanz".

Eine praktisch sinnvollere Anwendung des "VNA"-Baelements findest du im *Beispiel 9 vna*.

Beispiel 2: Verlustanalyse des 80m-Bandpasses

Um die Schaltung des obigen 80m-Bandpasses einer detaillierten Verlustanalyse zu unterziehen, müssen die Bauelemente in eine bestimmte Ordnung umgruppiert werden.

Öffne das Menü **Einstellungen** und aktiviere die **Segmentierung** und weitere Optionen:



Im Designer ist jetzt ein blaues Gitter eingeblendet. Durch Verschieben der Bauelemente und Verbindungen muss nun ein regelkonformes Schaltbild entstehen ohne dabei natürlich das elektrische Verhalten des Netzwerks zu verändern.

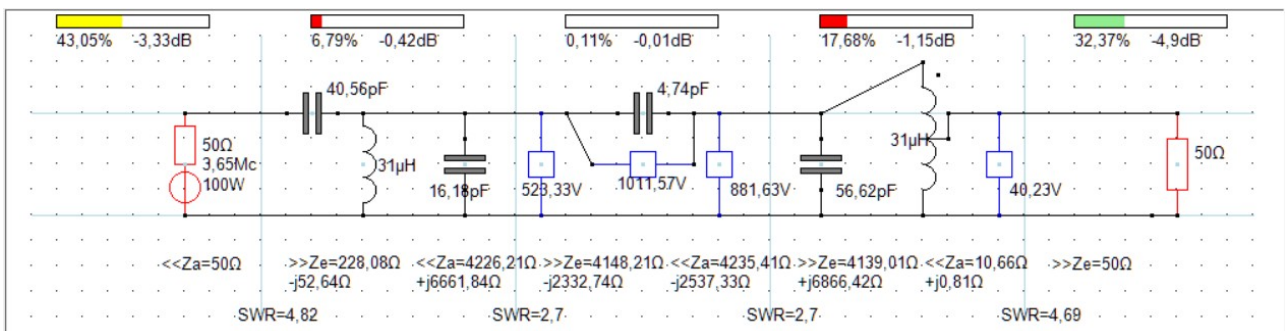
Folgende Regeln sind einzuhalten damit die Verlustbalken die richtigen Werte anzeigen:

- Der Generatorwiderstand (**RG** bzw. **VNA**) muss immer ganz links (im ersten Segment), die Lastimpedanz **ZA** ganz rechts (im fünften Segment) platziert werden.
- Zwischen benachbarten Segmenten sind nur **zwei** Verbindungen (Drähte) erlaubt. Diese müssen exakt auf der Höhe der beiden waagrechten Linien des blauen Gitters liegen.
- Das Platzieren von Bauelementeanschlüssen direkt auf den Kreuzungspunkten des Gitters ist zu vermeiden.
- Die Anschlüsse eines Bauelements dürfen **nicht** in verschiedenen Segmenten liegen.

Um Bauelemente oder Verbindungen zu verschieben ziehe um sie herum, bei gedrückt gehaltener **rechter** Maustaste, einen Rahmen, klicke dann mit der **linken** in diesen hinein und verschiebe ihn bei gedrückt gehaltener linker Maustaste an die neue Position.

Wenn das Umgruppieren zu umständlich ist, der sollte besser völlig neu beginnen (siehe **Beispiel 3**).

Um die Verlustanalyse für das folgende regelkonforme Schaltbild des 80m-Filters durchzuführen aktiviere den **Analyse**-Reiter und klicke die Schaltfläche **START**:



Unterhalb der Segmente siehst du die Ein- und Ausgangsimpedanzen (Z_e bzw. Z_a) und das SWR.

Was bedeuten die Balken über den fünf Segmenten?

Der gelbe Balken (ganz links, 43,05%), zeigt die Verluste durch Fehlanpassung der PA. Gelb ist der Balken deshalb, weil dies ja keine Wärmeverluste sind.

Der 50Ohm-Innenwiderstand der Quelle "sieht" die komplexe Last $Z_e(\text{Ohm}) = 228 - j52,6$ das entspricht einem SWR = 4,82 bzw. Einbußen von 43%, es handelt sich also hier um eine deutliche Fehlanpassung.

Die drei mittleren Segmente sind auf unterschiedliche Weise beteiligt, zusammen mit dem ersten Segment ergeben sich Gesamtverluste von 67,63%.

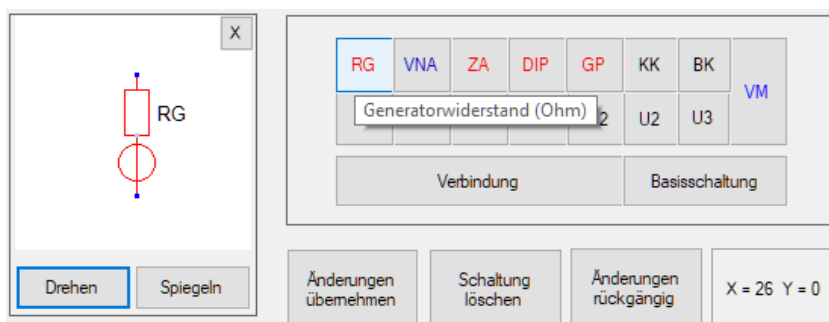
Der verbliebene Rest (32,37%) wird durch den grünen Balken über dem letzten Segment angezeigt, es ist die **Vorwärtstransmission S21** der Schaltung (-4,9dB) bzw. Durchgangsdämpfung (4,9dB), d.h., bei einer PA-Leistung von 100W werden im Lastwiderstand 32,37W umgesetzt.

Beispiel 3: Entwurf einer Schaltung (80m-Bandpass)

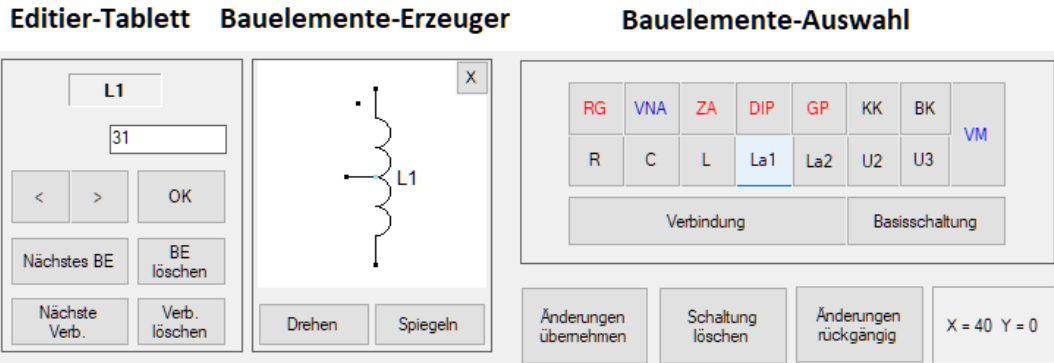
Die Bedienung des Designers ist nicht schwer und wird schnell zur Routine.

Hier soll Schritt für Schritt gezeigt werden, wie du eine für die Verlustanalyse regelkonforme Schaltung von Grund auf selbst erzeugst.

- Öffne mit **Datei/Neu** eine neue leere Schaltungsdatei.
- Öffne das Menü **Einstellungen**, aktiviere die Segmentierung und setze darunter die erforderlichen Häkchen für die Anzeigoptionen unterhalb der Schnittstellen der einzelnen Segmente (Verluste, Ze, Za, SWV).
- Nachdem du den Dialog mit **OK** geschlossen hast, klickst du in der **Bauelemente-Auswahl** (oben rechts) auf den Button **RG**. Das Symbol für den Innenwiderstand der PA erscheint im **Bauelemente-Erzeuger** (das Fensterchen links daneben) und muss dort so gedreht (**Drehen**) und gespiegelt (**Spiegeln**) werden wie es später an seiner endgültigen Position erscheinen soll.



- Klicke mit der linken Maustaste in das **erste** Segment des Designers (links neben der ersten blauen Linie) und verschiebe (bei gedrückt gehaltener Maustaste) das Bauelement an seine endgültige Position und lasse erst dort die Maustaste wieder los. Ein Drehen oder Spiegeln des Bauelements ist hier nicht mehr möglich.
- Klicke in der **Bauelemente-Auswahl** auf den Button **C**, drehe das C-Symbol im **Bauelemente-Erzeuger** in die gewünschte Lage und platziere es im zweiten Segment.
- Auf analoge Weise verfahren mit den anderen Bauelementen der drei mittleren Segmente.

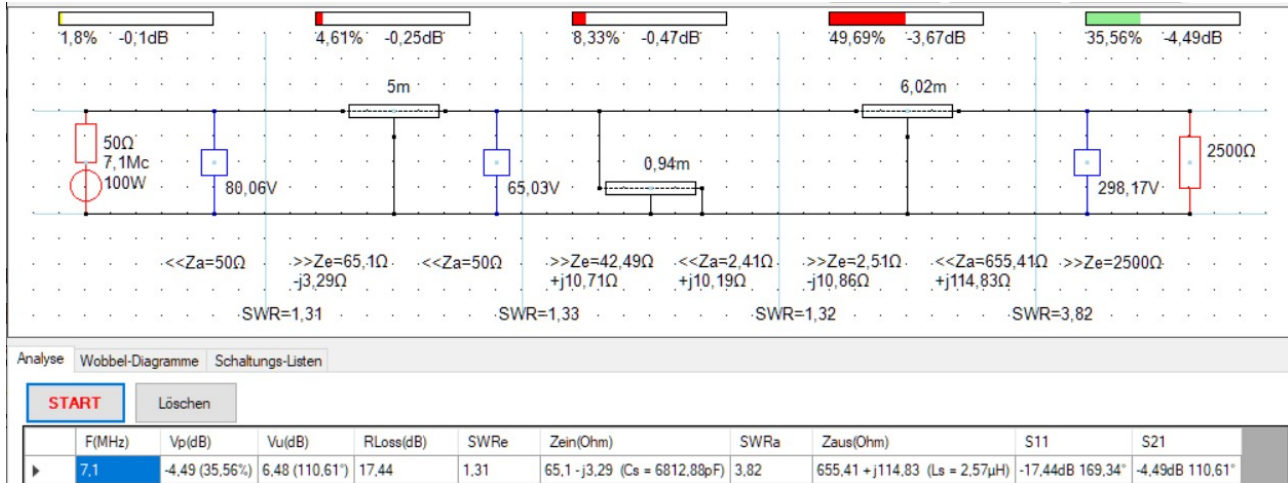


- Klicke in der **Bauelemente-Auswahl** auf den Button **ZA** (Abschlussimpedanz) und platziere dieses Bauelement im fünften Segment (ganz rechts).
- Stelle nun die Verbindung zwischen den Bauelementen her, indem du zunächst auf die **Verbindung**-Schaltfläche klickst. Dann klickst du auf einen Anschluss und ziehst (bei gedrückt gehaltener Maustaste) die Verbindungslinie bis zum anderen Anschluss. Erst dort lässt du die Maustaste wieder los.
- Stelle die restlichen Verbindungen her. Dazu brauchst du die **Verbindung**-Schaltfläche nicht erneut zu klicken, sondern du fährst einfach fort, indem du auf den Startpunkt der nächsten Verbindung klickst, die Verbindung ziehst, die Maus loslässt usw.
- Setze Bauelemente vom Typ **VM** (Voltmeter) an die Stellen, wo du die Spannungen messen möchtest.
- Einzelne Bauelemente kannst du wieder entfernen, indem du sie zunächst aktivierst (in die Nähe des blauen Punkts in der Mitte klicken). Das Bauelement erscheint jetzt rot umrandet und wird gelöscht, wenn du auf **BE löschen** klickst (oder **Entf**-Taste der Rechnertastatur). Alternativ zum Anklicken kannst du, bei gedrückt gehaltener rechter Maustaste, auch einen Rahmen um den zu löschenden Schaltungsausschnitt aufziehen.
- Spätestens jetzt solltest du mit **Datei/Speichern als ...** die Schaltung unter einem aussagekräftigen Namen sichern.
- Das Zuweisen der elektrischen Parameter geschieht durch Anklicken des Bauelements (es erscheint rot umrandet) und Zuweisen der Werte im **Editier-Tablett**. Dessen **OK**-Schaltfläche brauchst du erst dann zu klicken, nachdem alle Parameter des Bauelements eingegeben sind.

Beispiel 4: Endgespeiste $\lambda/2$ -Koaxantenne (J-Antenne)

Dieses Beispiel bezieht sich auf meinen Beitrag "SWR gut - alles gut? in CQDL 4/2019 (Aufmacherbild S.28).

Lade über *Datei/Öffnen* die Datei *Beispiel 4.ama*, wähle (unten links) den **Analyse**-Reiter und klicke daneben auf **START**.



Die auf dem Weg zur Antenne verlorengegangenen 64,44W setzen sich also wie folgt zusammen:

- 1,8W Verluste durch Fehlanpassung
- 4,61W Wärmeverluste im 5m langen RG58-Speisekabel
- 8,33W Wärmeverluste in der 0,94m langen RG58-Stichleitung
- 49,69W Wärmeverluste in der 6,02m langen RG58-Transformationsleitung

Die geringfügig abweichenden Ergebnisse gegenüber dem CQDL-Beitrag lassen sich auf eine Verbesserung des Kabelmodells zurückführen:

Die Bezugsfrequenz f_b der Kabeldämpfung ist im KNWA nicht mehr wie bei den Vorgängerversionen starr auf 10MHz festgelegt.

Entsprechend den zur Verfügung stehenden Katalogdaten bzw. Messwerten kann man f_b jetzt möglichst nahe der Arbeitsfrequenz wählen.

Die Interpolation der Kabeldämpfung $a(\text{dB})$ für die Arbeitsfrequenz f erfolgt wie üblich nach der bekannten Wurzelmethode:

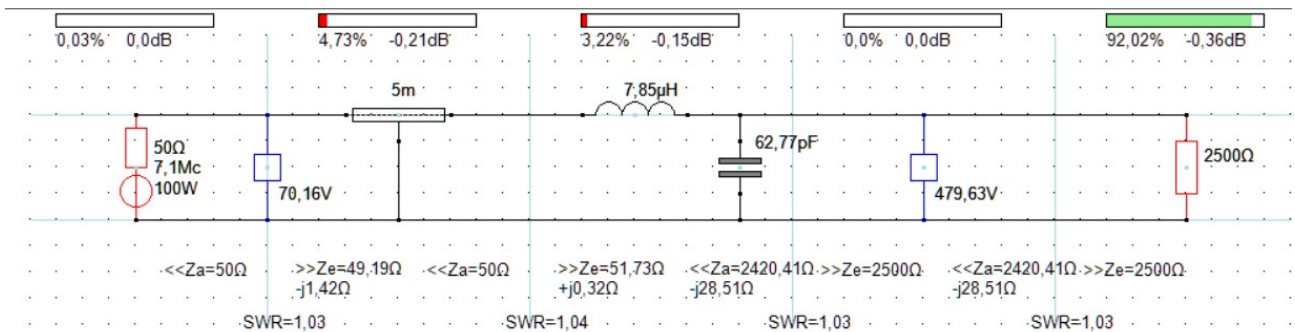
$$a(\text{dB})_f = a(\text{dB})_{f_b} \sqrt{\frac{f}{f_b}}$$

Um die Kabelparameter zu editieren, klicke in die Mitte des Kabels (es erscheint dann rot umrandet). Nun kannst du im **Editier-Tablett** (oben links) mit den Pfeiltasten zwischen den Parametern navigieren und wirst erkennen, dass die Kabeldämpfung des RG58 mit 4dB bei 7MHz eingetragen ist. Entsprechend der Wurzel-Approximation sind das bei 7,1MHz ca. 4,03dB.

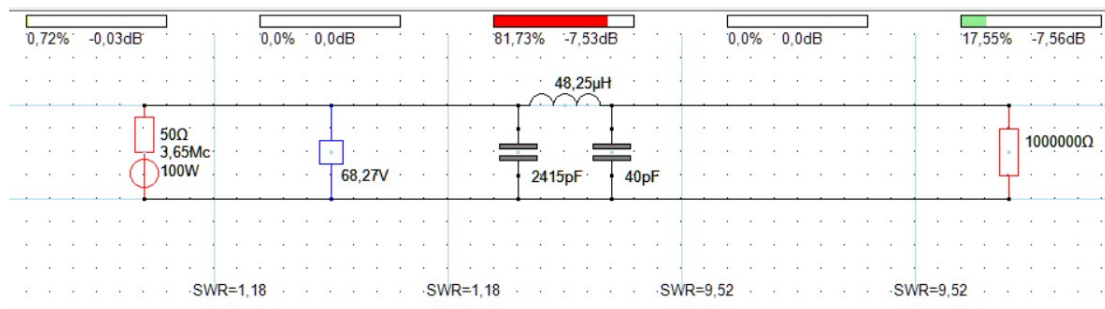
Änderst du die **Hauptfrequenzmarke** (Eingabefeld oben links) und klickst auf **START**, so wird die Ergebnisliste am unteren Rand des Hauptfensters um eine weitere Zeile ergänzt (ähnlich wie im bekannten Antennen-Simulationsprogramm MMANA-GAL).

Beispiel 5: $\lambda/2$ -Antenne mit LC-Anpassglied

Die Datei *Beispiel 5.ama* enthält die deutlich verlustärmere Alternative zur obigen, immer noch sehr beliebten, Koaxantenne (siehe Bild 2 in CQDL 4/19, S.29).



Beispiel 6: Kamikaze eines Automatikkopplers

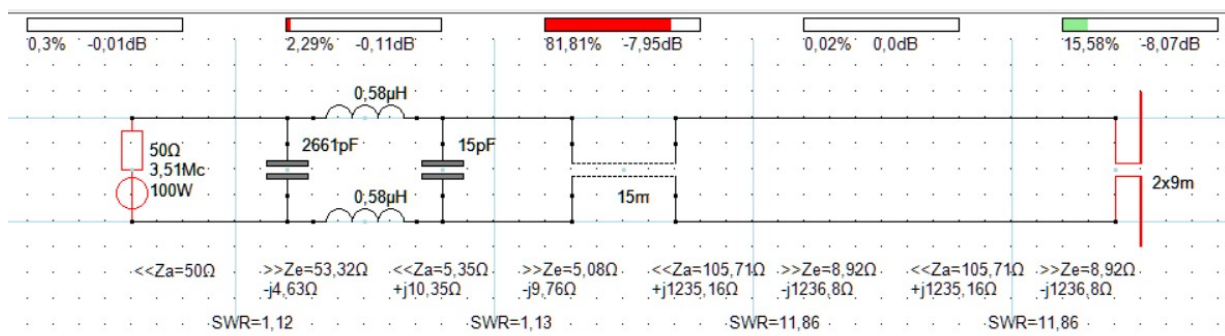


Die Schaltung in *Beispiel 6.ama* demonstriert die Selbstzerstörung eines SG-230 aufgrund des nicht angeschlossenen Antennenkabels (siehe Bild 3 in CQDL, S.29): Das "vergessene" Antennenkabel ist hier durch einen sehr hochohmigen Lastwiderstand (1M Ohm) nachgebildet.

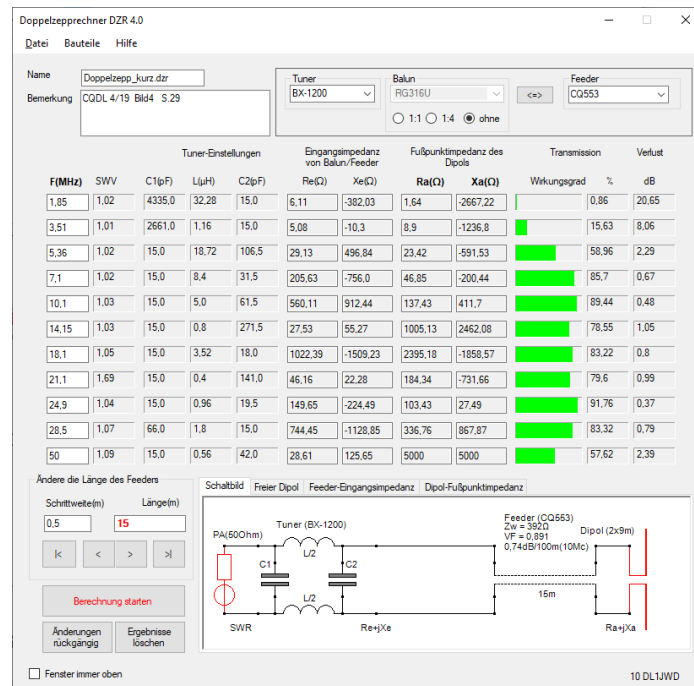
Beispiel 7: Kurze Doppelzepp 2x9m

Die Datei *Beispiel 7.ama* entspricht dem dritten Antennensystem meines CQDL-Beitrags (CQDL 4/19, Bild 4, S.29).

Dass die Werte geringfügig abweichen liegt an den jetzt genaueren Kabeldaten des CQ553: $Z_w = 392\Omega$, $VF = 0,89$, $a = 0,63\text{dB}/100\text{m}$ bei 3,5 MHz sowie dem hier verwendeten symmetrischen Antennenkoppler BX-1200.

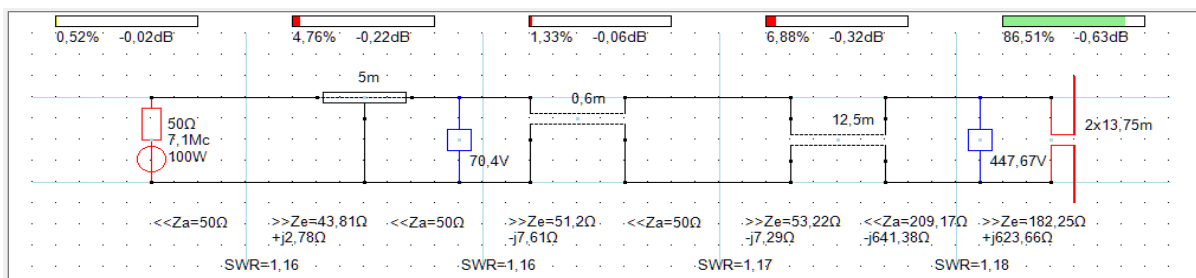


Wie du siehst, hat diese Doppelzepp auf dem 80m-Band trotz gutem SWR nur einen sehr geringen Wirkungsgrad (15,6%), da fast die gesamte Leistung im 15m langen Feeder verloren geht. Die zur Abstimmung erforderlichen LC-Werte des ATU lassen sich vorab mit dem [Doppelzepp-Rechner](#) ermitteln:

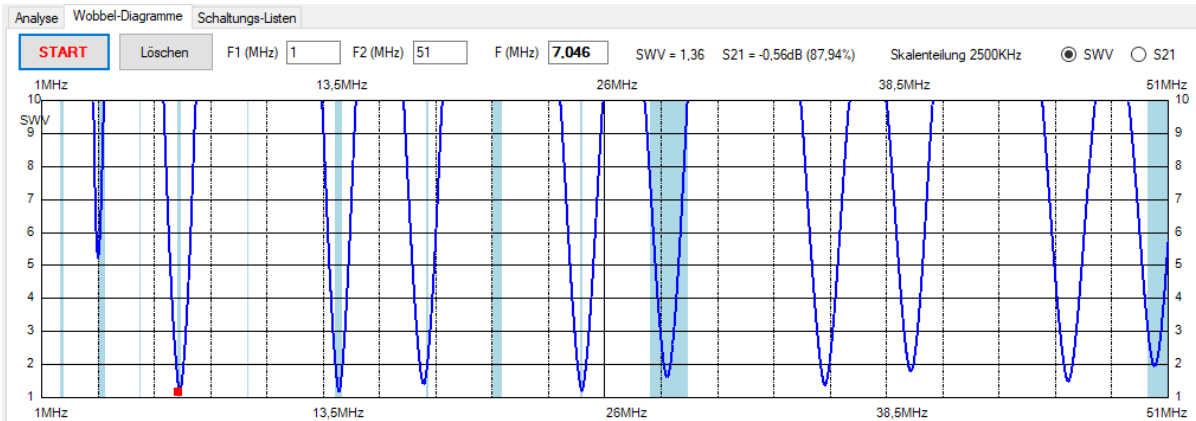


Beispiel 8: ZS6BKW-"Wunderantenne"

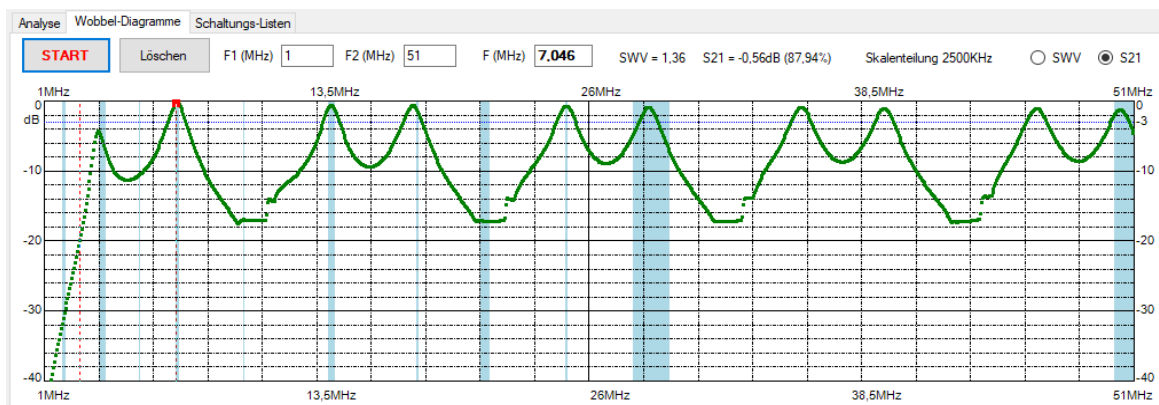
- Öffne die Datei *Beispiel 8.ama* um diese berühmte und u.a. [hier](#) ausführlich beschriebene Antenne zu laden.
Der "Balun für undefinierte Impedanzen" besteht aus 1m Zweidrahtleitung ($Z_w=102\text{Ohm}$) und der Feeder aus 12,5m Wireman-Bandkabel CQ553 (richtig eingesetzt ist dieses Kabel weitaus besser als sein Ruf!).
- Klicke im Schaltbild rechts auf das rote Symbol des Dipols. Wie auch bei allen anderen Bauelementen kannst du im **Editier-Tablett** mit den Pfeiltasten zwischen den Dipol-Parametern navigieren (Länge = 27,5m; OCF-Anzapfung = 50%, d.h. symmetrische Speisung; Drahtstärke $d = 2\text{mm}$) und sie evtl. ändern.
- Im Menü **Einstellungen** setzt du die Häkchen für die Verlustanalyse.
- Klicke **START** für eine Verlustanalyse (ohne Antennentuner!) z.B. für 7,1MHz:



- Wähle den Reiter **Wobbel-Diagramme**, trage Anfangs- und Endfrequenz des zu durchlaufenden Bereichs ein (1...51MHz) und klicke **START**.
- Der SWV-Verlauf bestätigt die 5 Resonanzen, d.h., das SWV auf den Bändern 40m, 20m, 12m, 10m und 6m ist kleiner als 2 (die Afu-Bänder sind durch hellblaue Balken markiert):



- Auch den Verlauf der Vorwärtstransmission (S21) kannst du dir anzeigen lassen:



- Mit der Maus verschiebst du ein senkrecht rotes Frequenzlineal über dem Diagramm, um dabei **SWV** und **Vorwärtstransmission** abzulesen, du kannst auch die Frequenz direkt eintragen und mit ENTER abschließen.

Hinweis:

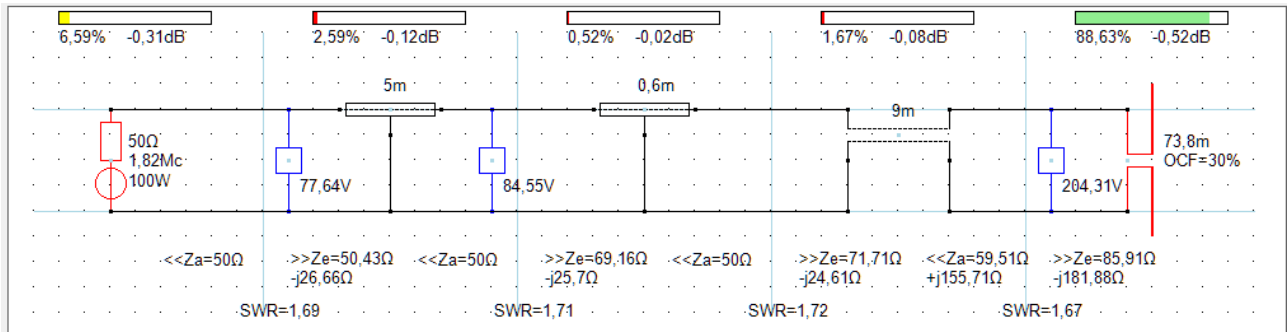
Nach Wechsel vom "Analyse"-Modus in den "Wobbel"-Modus (und umgekehrt) ist stets erneut auf **START** zu klicken!

Beispiel 9: JWD-Allband-Doppelzepp

Diese mit dem [MultiResonanzFinder \(MRF\)](#) aufgespürte Antenne wird im FA 7/20 und in der CQDL 12/20 beschrieben.

Im Vergleich zur ZS6BKW ist sie auf allen(!) 11 Afu-Bändern (inkl. 160m) einsetzbar, erreicht dafür aber mit 73,8m beachtliche Abmessungen und hat sich insbesondere bei Portable-Einsätzen bewährt.

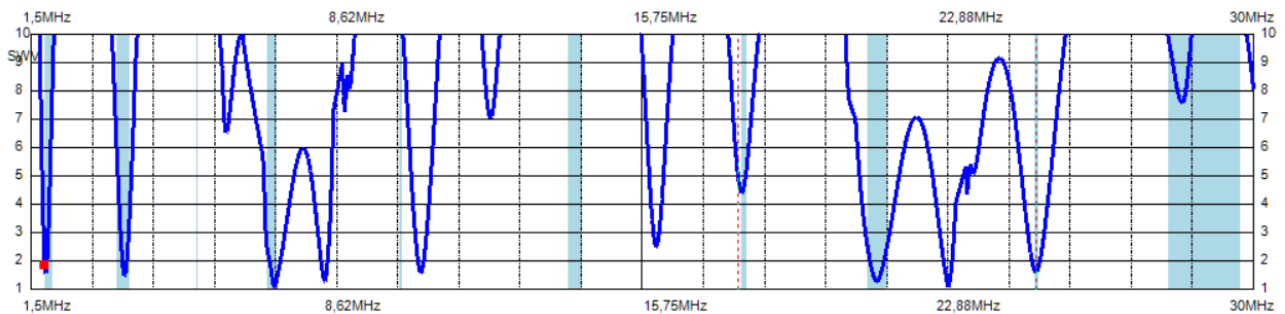
Hier die Verlustanalyse für das 160m-Band (*Beispiel 9.ama*):



Die PA ist über 5m RG58 mit einem 1:1 Balun aus 0,6m RG316U (auf FT140-43 Ringkern) verbunden.

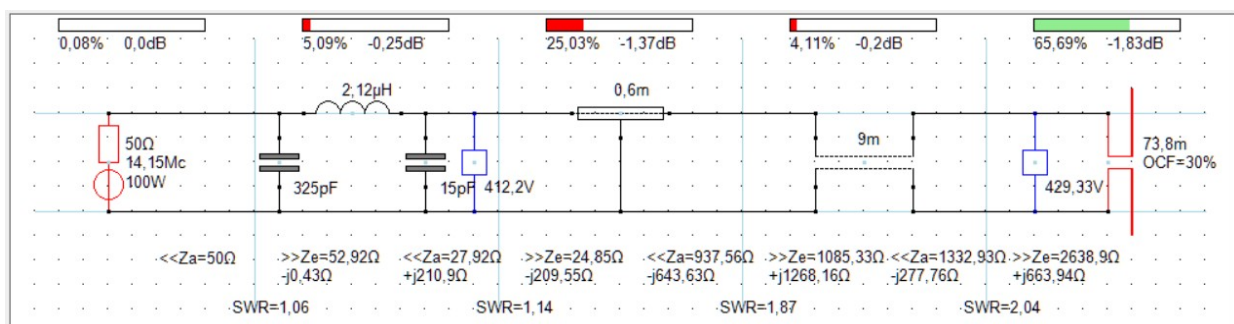
Es folgt ein 9m Feeder aus CQ553-Bandleitung, der zu einem 73,8m langen, bei 30% eingespeisten, OCF-Dipol führt.

Das SWR-Diagramm zeigt Resonanzen auf 6 Bändern (160m, 80m, 40m, 15m, 12m und 6m):



Wie der [Doppelzepprechner](#) bestätigt, lassen sich auch alle anderen Bänder mit einem Antennentuner zum Leben erwecken (SWR < 2).

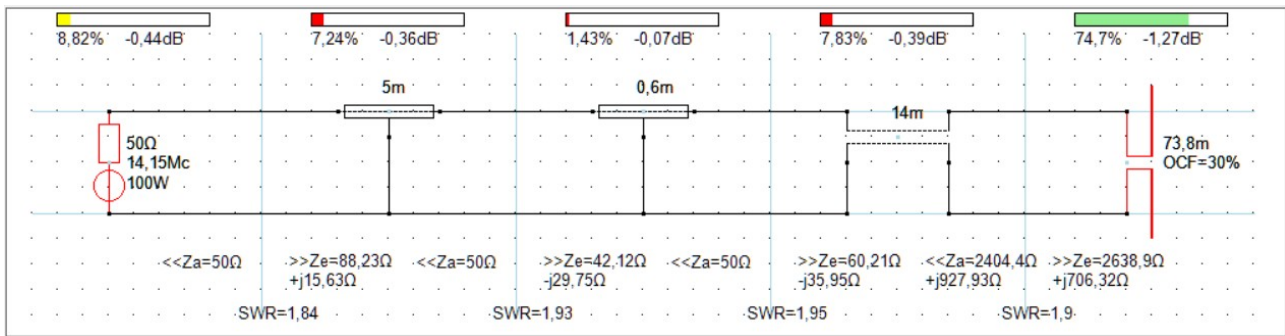
Hier aber kann es bei längerem Sendebetrieb leicht zu einer Überhitzung des Baluns kommen, z.B. auf dem 20m-Band:



Das Beispiel verdeutlicht, dass bei 14,15MHz und 100Watt Output der Balun mit knapp 25Watt "geheizt" wird (*Beispiel 9_14Mc.ama*).

Allerdings kann mit einer Verlängerung des Feeders um ca. 5m die *JWD-Allband-DZ* auch auf dem 20m-Band ohne Tuner betrieben werden¹:

¹ Tnx Mark (2E0VSS), der das herausgefunden hat.

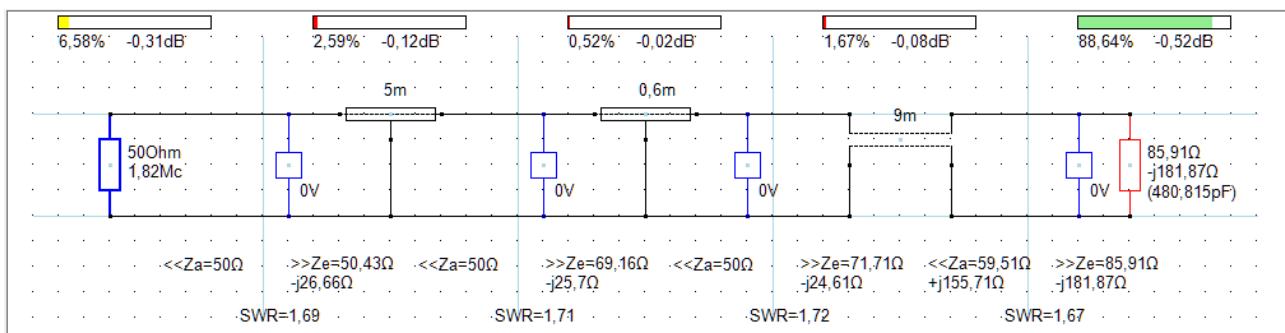


Achtung: Durch die Feederverlängerung werden teilweise andere Resonanzen zerstört, wovon man sich nach Umschalten in den Wobbelmodus überzeugen kann.

Beispiel 9 vna: Indirekte Messung der Antennenimpedanz mittels "VNA"

Unter Verwendung des "VNA"-Baelements kann man sich die Antennenimpedanz auch bequem über eine Impedanzmessung am Eingang des Antennen-Speisekabels berechnen lassen. Voraussetzung ist allerdings, dass alle Kabeldaten und alle übrigen Baelemente der Anpassschaltung bekannt sind (*Beispiel 9vna.ama*).

Hier die Berechnung der Antennenimpedanz für die JWD-Allband-Doppelzepp:



In das erste Segment wird anstatt des Baelements "RG" der "VNA" platziert. Diesem weist man als Parameter die praktisch gemessene Eingangsimpedanz zu: $R_e = 50,4\text{Ohm}$ und $X_e = -26,7\text{Ohm}$.

Im letzten Segment hat die unbekannte Strahlerimpedanz "ZA" den Platz des "DIP"-Baelements eingenommen. Die Parameter von ZA sind zunächst egal, sie werden vom Programm nach START mit ihren exakten Werten überschrieben.

Wie man sieht wird in unserem Fall bei 1,82Mc als Ergebnis die Antennenimpedanz $Z_A = 85,9 - j181,9$ ermittelt, was die Werte aus *Beispiel 9* bestätigt.

Wichtig:

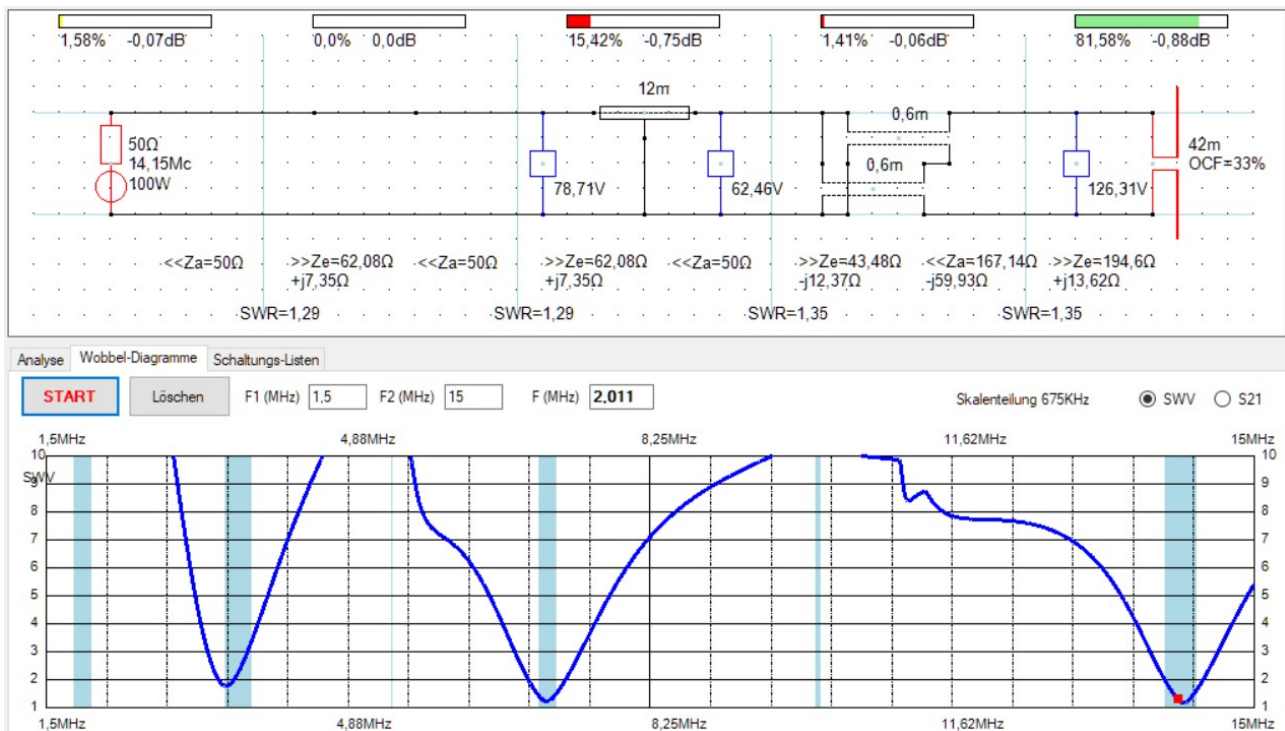
- Da die berechnete Antennenimpedanz Z_A nur für eine einzige Frequenz gilt, würde hier die Aufnahme eines breitbandigen *Wobbel-Diagramms* zu falschen Ergebnissen führen!
- Da die Spannungen bei einer VNA-Messung sehr klein sind, zeigen alle Voltmeter den Wert null. Wer aber an Spannungswerten interessiert ist, muss anschließend das "VNA"-Baelement durch "RG" ersetzen und diesem die PA-Leistung als Parameter zuweisen.

- VNA-Messungen direkt am Eingang einer symmetrischen Zweidrahtleitung führen i.d.R. zu falschen Ergebnissen sodass die Zwischenschaltung eines 1:1 Balun zwingend erforderlich ist (hier 0,6m RG316U).

Beispiel 10: Windom-Antenne

Ab Version 4.0 des [Doppelzepprechners](#) lassen sich auch Antennen optimieren, bei denen der Balun direkt im Speisepunkt des Dipols sitzt.

Die damit gefundene und über 12m RG58 und einen 4:1 Balun gespeiste 42m-Windom kommt auf den Bändern 80/40 und 20m ohne ATU aus (*Beispiel 10.ama*):



Beispiel 11: Zusätzliches Band mit Parallel-C im Feeder

Wenn man an einer bestimmten Stelle den Feeder eines Dipols mit einer zuschaltbaren Kapazität überbrückt kann eine zusätzliche Resonanz erzeugt werden².

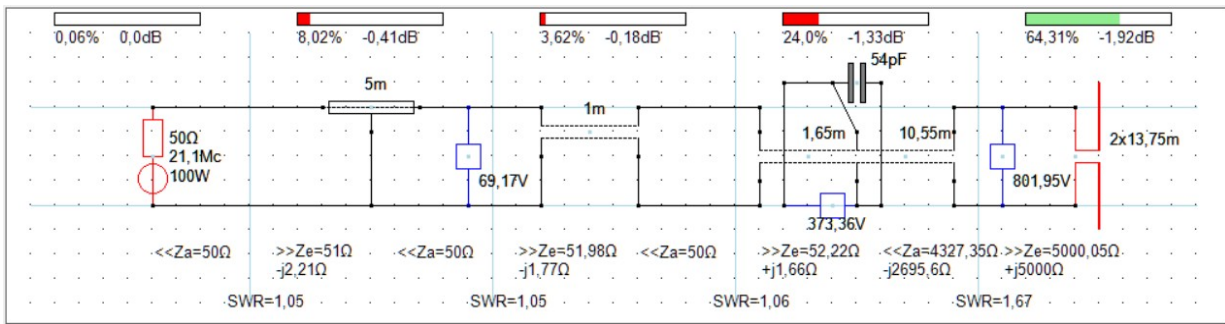
Mit dem [CFinder](#) lässt sich berechnen, ob und an welcher Position ein bestimmtes C angeschlossen werden muss um zum gewünschten Ergebnis zu gelangen.

In *Beispiel 11.ama* wird die ZS6BKW an das 15m-Band angepasst, indem im Abstand von 1,65m vom Balunausgang der Feeder mit 54pF überbrückt wird.

Am Kondensator liegen ca. 373Veff an, er sollte also mit ca. 1kV belastbar sein.

Inwieweit durch diesen Eingriff die anderen Resonanzen der ZS6BKW in Mitleidenschaft gezogen werden, lässt sich im Wobbelmodus des KNWA ermitteln.

² Tnx Peter, HB9PMG, und Urs, HB9MPN, für entsprechende Anregungen.

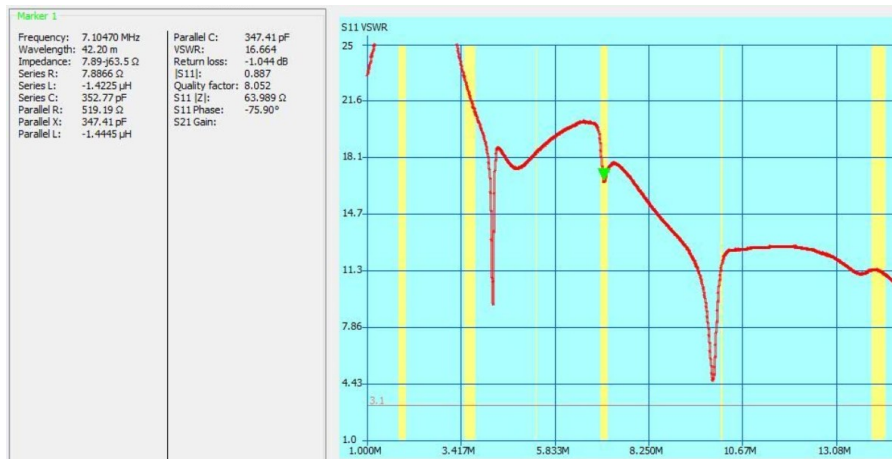


Beispiel 12 vna: Feedback zum "VNA"-Baelement (Urs, HB9MPN)

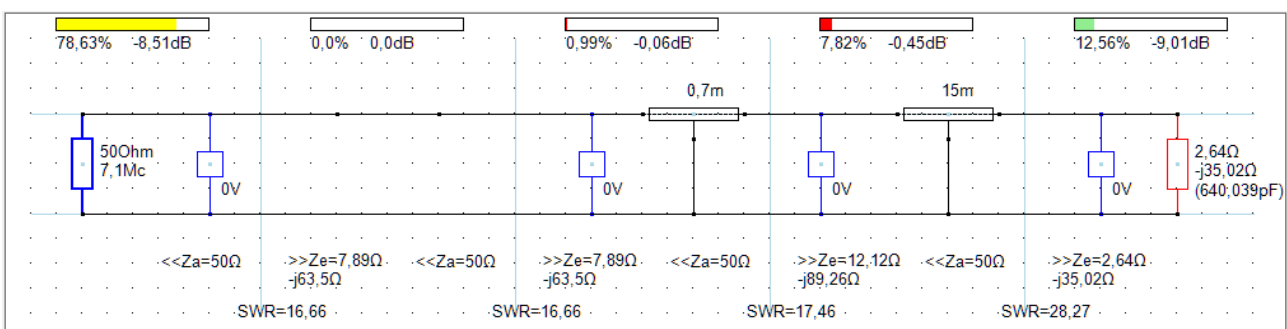
... diese Ergänzung ist genau, das was ich mir gewünscht habe. Habe alle meine alten CP-6 Messungen nachgerechnet, die ich schrittweise mit deinem Kabelrechner machte. Alle Ergebnisse stimmten überein.

Das bewältigte ich jetzt in ca 10 Min. So kann ich die Daten der VNA-Messung bei der Quelle eingeben.

Hier als Beispiel meine (nicht abgestimmte!) CP-6 Antenne, die ich im Shack mit meinem NanoVNA bei 7MHz gemessen habe:



VNA – BNC-Kabel RG58CU 0,7 m – AirCell 7 Länge 15 m - CP-6.



Allen OMs sollte klar sein, dass mit dem NanoVNA, der ja unsymmetrisch ist, keine symmetrischen Kabel gemessen werden können. Da muss immer einen Balun mit undefinierter Impedanz vorgeschaltet werden.

Ich verwende den mit 0,5 m Lautsprecherkabel und einem Ferritring FT-140-43.

Nicht jedem OM dürfte aber sofort klar sein, wieso es einen Unterschied zwischen dem oben im Designer angezeigten $Z_a = 50\Omega$ und dem unten im Datengitter angezeigten $Z_{aus} = 50-j35,02\Omega$ gibt:

F(MHz)	Vp(dB)	Vu(dB)	RLoss(dB)	SWRe	Zein(Ohm)	SWRa	Zaus(Ohm)	S11	S21
7.1	-9.01 (12...)	-27.81 (50,63°)	1,04	16,66	7,89 -j63,5 (Cs = 35...)	28,28	50 -j35,02 (Cs = 640,04pF)	-1,04dB 104,1°	-9,01dB 50,63°

Meine Antwort:

Lieber Urs, du hast vollkommen recht, hier muss ich noch besser erklären, denn Ausgangsimpedanz Zaus und Lastimpedanz ZA sind zwei verschiedene Paar Schuhe!

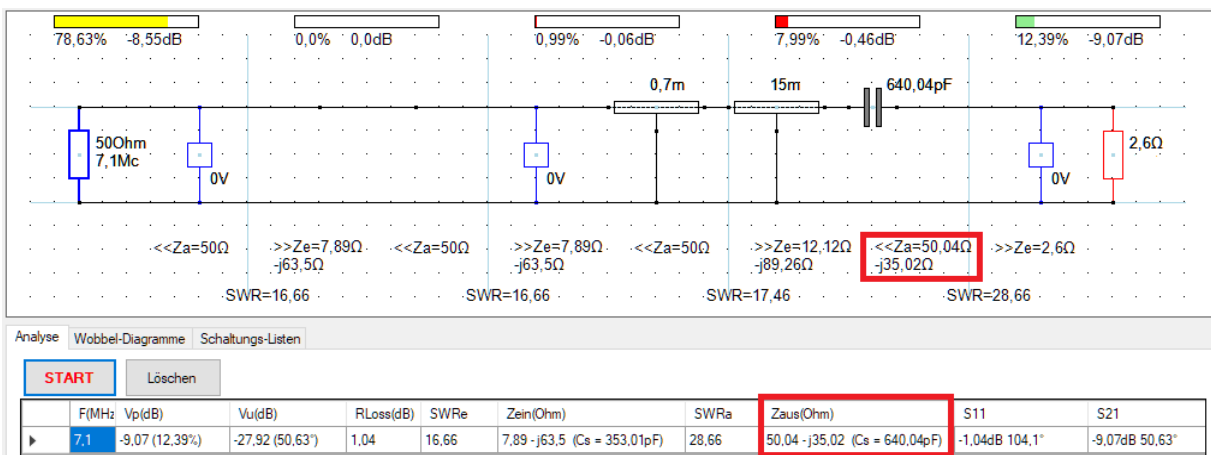
In deiner Schaltung ist Zaus reell und hat den Wert 50Ohm, da du (bei abgetrennter Antenne!) diesen Wert messen würdest (zwei hintereinander geschaltete 50Ohm-Koaxkabel die vorn mit 50Ohm abgeschlossen sind).

Die Lastimpedanz ZA (Fußpunktwiderstand der Antenne) hingegen ist komplex, hat also auch eine Blindkomponente jXA.

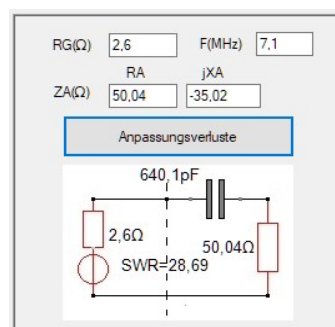
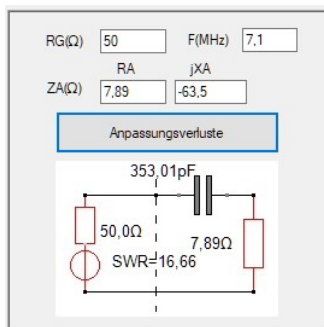
Ein praktisch sinnvolles antennenseitiges SWR lässt sich aber nur gegen die reelle Lastimpedanz RA ermitteln. Dazu musst du die Schaltung so umordnen, dass ZA nur noch die reelle Komponente RA hat und dass XA nach links "verschoben" wird, also nun als Kapazität in Reihe zum Antennenkabel liegt.

Wie die Simulation zeigt, hat sich das elektrische Verhalten des Antennensystems dadurch nicht verändert! Der Strahlungswiderstand RA der Antenne "sieht" den angezeigten Wert 50 – j35Ohm.

Nur so ergibt sich das richtige antennenseitige SWR = 28,66 (die geringen Abweichungen in den Nachkommastellen sind Rundungsfehlern geschuldet)³.

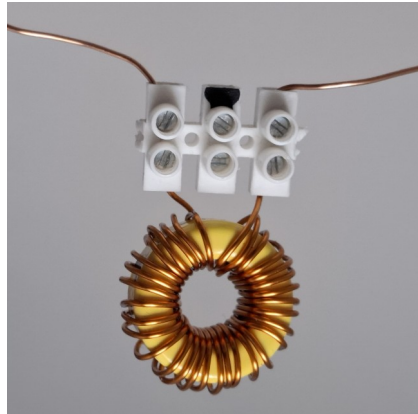


Wie man also sieht, erfolgt die Berechnung des antennenseitigen SWR mittels RA und Zaus analog zu der des eingangseitigen SWR mittels RG und Zein, nur in umgekehrter Richtung (siehe Programm [Anpassungsverluste](#)):

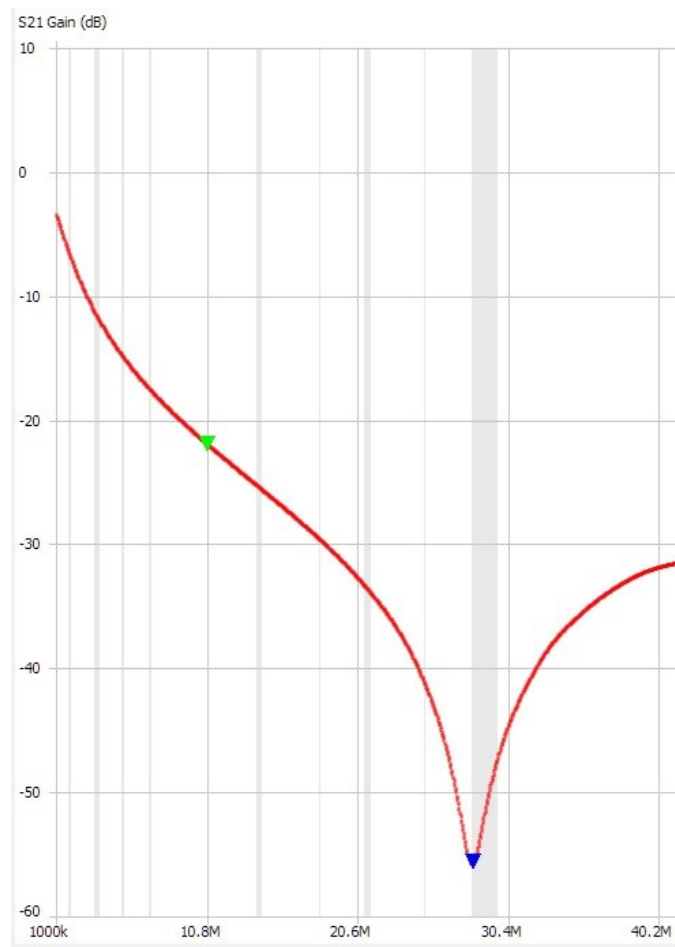


Beispiel 13: Modellierung einer Verlängerungsinduktivität

Beide Verlängerungsspulen meines für das 10,1MHz-Band auf 6m verkürzten Dipols haben eine Induktivität von jeweils $12\mu\text{H}$, sie sind auf gelbe Amidon-Ringkerne T106 - 6 gewickelt, deren vom Hersteller angegebene Gütefaktor ca. 150 beträgt:

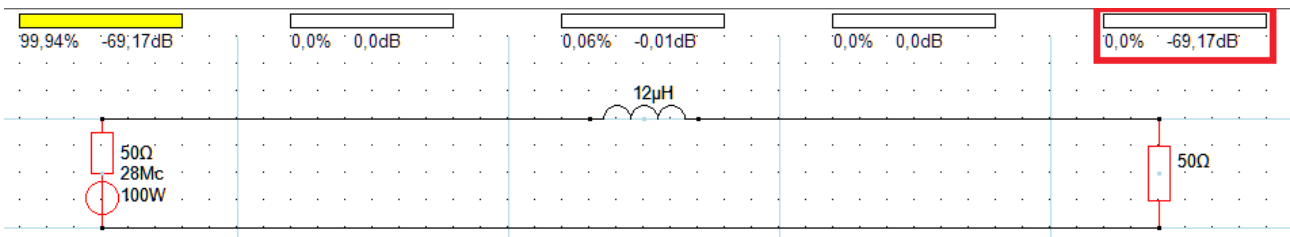


Zur Ermittlung der Parallelresonanz wird eine S21-Messung mit dem NanoVNA vorgenommen:

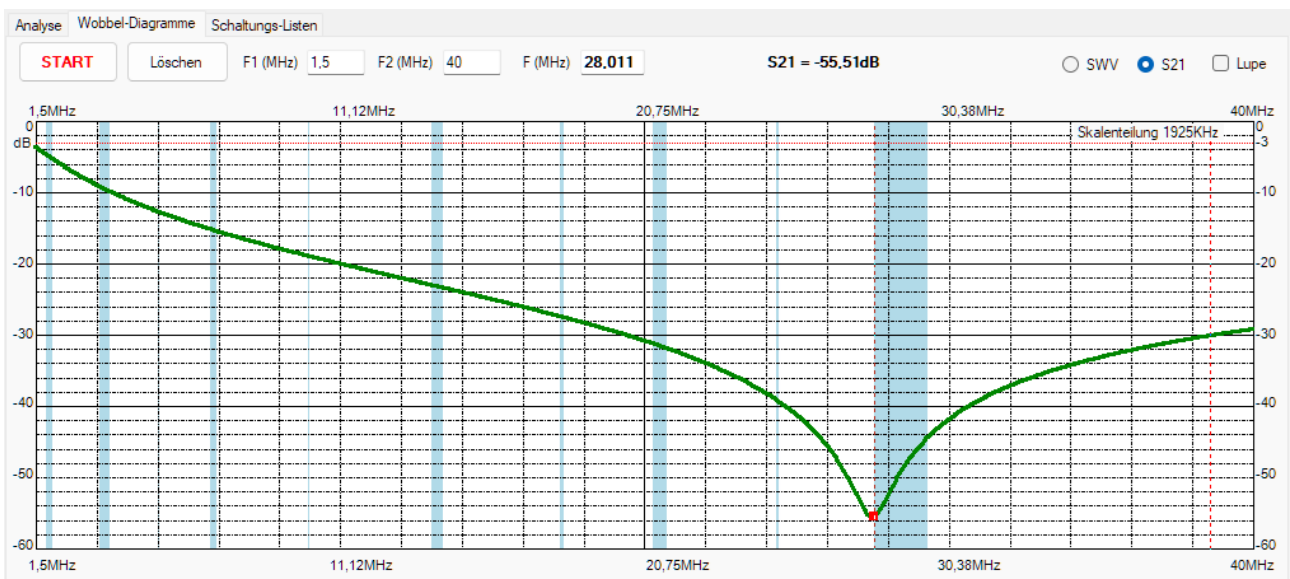


Das Diagramm zeigt Resonanz bei 28MHz, was einer Parallelkapazität $C_p = 2,7\text{pF}$ entspricht. Das Dämpfungmaximum liegt bei ca. 56dB.

Die Simulation der Messanordnung mit dem alten KNWA (ohne Parameter QC_p) ergäbe die viel zu hohe Durchgangsdämpfung von fast 70dB:



Mit der Version 4.0 des KNWA (*Beispiel 13.ama*) findet man durch schrittweises Verkleinern des neuen Parameters QC_p schließlich heraus, dass KNWA- und VNA-Wobbelkurven nur dann gut übereinstimmen, wenn QC_p dem Wert von ca. 35 nahe kommt:



Hinweis:

Eine direkte Bestimmung von QC_p , ohne umständliches Herumprobieren, ist mit dem Tool "16_Spulenrechner 2" möglich.

Kurzanleitung zur Bedienung des Designers

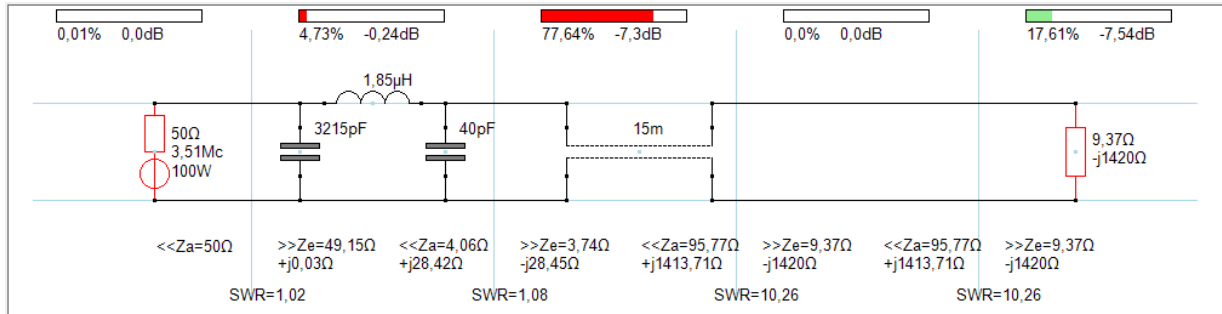
- Jede Schaltung hat genau einen Generatorwiderstand R_G (oder VNA) und eine Lastimpedanz Z_A (oder Dipol, Groundplane).
- **Bei eingeschalteter "Segmentierung" (und nur dann) sind einige Besonderheiten zu beachten, da ansonsten keine exakten Verlustanalysen und SWR-Berechnungen möglich sind:**
 - R_G bzw. VNA sind immer im ersten und Z_A bzw. DIP , GP immer im letzten Segment zu platzieren
 - die Verbindungsdrähte zwischen den Segmenten müssen die senkrechten blauen Linien auf gleicher Höhe wie R_G , VNA bzw. Z_A , DIP oder GP schneiden
 - Bauelemente dürfen nicht auf den senkrechten blauen Linien liegen
 - die einzelnen Segmente müssen immer mit genau zwei waagrechten Drähten verbunden werden
- Nach Klick auf den entsprechenden Button in der *Bauelemente-Auswahl* ("RG", "VNA", "R", "C", ...) drehst und spiegelst du jedes Bauelement zunächst in die gewünschte Lage, klickst dann auf den Designer und verschiebst das Bauelement bei gedrückt gehaltener linker Maustaste an seine endgültige Position.
- Hast du alle Bauelemente platziert, stellst du nach Klick auf den "Verbindung"-Button die Verbindungen zwischen ihnen her.
- Ein nachträgliches Drehen oder Spiegeln eines Bauelements innerhalb der Schaltung ist nicht möglich. Also lösche es und erzeuge es neu in der gewünschten Lage. Das Verschieben von Bauelementen und Verbindungen ist hingegen immer möglich (s.u.).
- Bauelemente und Verbindungen löschst du durch anklicken (werden rot markiert) und anschließendes Betätigen der *Entf*-Taste. Bei schrägen Verbindungen muss manchmal mehrfach in der Nähe von Anfang oder Ende geklickt werden, bis die Markierung erscheint.
- Verbindungen können auch nacheinander eingegeben werden, der "Verbindung"-Button ist also nur einmal zu klicken!
- Um ein Bauelement, einen Verbindungspunkt oder einen Schaltungsausschnitt zu verschieben, musst du bei gedrückt gehaltener **rechter** Maustaste einen Rahmen, beginnend mit der **linken** oberen Ecke, aufziehen. Dann mit der **linken** Maustaste in den Rahmen klicken um diesen zu verschieben.
- Eine komplette Übersicht der Schaltung liefern die drei "Listen"-Datengitter. Auch hier kannst du Bauelemente, Parameter und Verbindungen überprüfen und editieren.
- Zeilen in den „Listen“-Datengittern lassen sich nach Markieren der Zeile (Klick auf die linke Spalte) und Betätigen der *Entf*-Taste löschen.
- Die Eingabe elektrischer Parameter bestätigst du durch Klick auf den "OK"-Button oder mittels ENTER-Taste.
- Ein linker Mausklick auf den Designer liest die Schaltung erneut aus dem Speicher.

Am besten du schaust dir die beigefügten Beispieldateien an, bzw. modifizierst diese, um dich mit der Bedienung des KNWA vertraut zu machen.

HamVNAS vs SimSmith

Unter den zahlreichen Reaktionen auf meinen [CQDL-Beitrag](#) möchte ich insbesondere eine sich über Wochen hinziehende, äußerst interessante Diskussion mit OM Hans, DJ7BA, hervorheben.

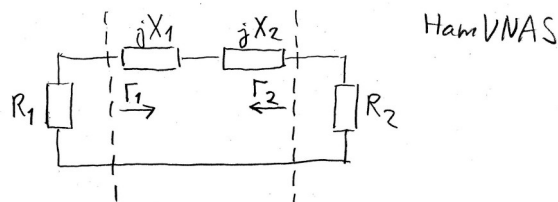
Hans war der Meinung, dass meine Berechnungen zum antennenseitigen SWR falsch seien:



HamVNAS sowie der KNWA basieren beide auf der klassischen Vierpoltheorie, dabei wird der komplexe Reflexionsfaktor Γ immer gegen einen **reellen** Generatorwiderstand R_1 und einen i.a. komplexen Lastwiderstand $Z_2 = R_2 + jX_2$ gemessen⁴:

$$\Gamma = (R_1 - Z_2) / (R_1 + Z_2).$$

Ist auch der Generatorwiderstand komplex ($Z_1 = R_1 + jX_1$), so "sieht" der Generator seine eigenes X_1 als additiven Bestandteil von X_2 :



$$\Gamma_1 = \frac{R_1 - (R_2 + j(X_1 + X_2))}{R_1 + R_2 + j(X_1 + X_2)} \quad \Gamma_2 = \frac{R_2 - (R_1 + j(X_1 + X_2))}{R_1 + R_2 + j(X_1 + X_2)}$$

$$\begin{aligned} a &= R_1 - R_2 \\ b &= -(X_1 + X_2) \\ c &= R_1 + R_2 \\ d &= X_1 + X_2 \end{aligned}$$

$$\Gamma_1 = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + j \frac{bc - ad}{c^2 + d^2} \quad \Gamma_2 = \frac{-ac + bd}{c^2 + d^2} + j \frac{bc + ad}{c^2 + d^2}$$

$$|\Gamma_1| = |\Gamma_2| = |\Gamma|$$

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Hans benutzt das weltweit verbreitete Antennen-Analyse-Programm *SimSmith*, er hat damit genau obiges Antennensystem modelliert, daraus aber einen antennenseitigen Reflexionsfaktor von **26,9** und daraus ein SWR = **-1,08** ermittelt.

Man lernt nie aus, dachte ich mir, denn bis dato waren mir nämlich Reflexionsfaktoren größer 1 und negative SWRs völlig unbekannt ;-)

4 Nach genau diesem Prinzip misst du auch die Eingangsreflexion S_{11} z.B. mit deinem NanoVNA (50Ohm-System).

Neugierig geworden habe ich mich dann näher mit *SimSmith* beschäftigt und bin tatsächlich zu den gleichen absurden Ergebnissen wie Hans gekommen.

Hier die letzte Mail von Hans, die zwar für Erleuchtung sorgte, aber meine Zweifel an der Praxistauglichkeit von *SimSmith* nicht ausräumen konnte.

Möge sich aber jeder selbst sein Urteil bilden:

Lieber Walter,

bitte entschuldige, dass ich doch noch einmal schreibe, aber ich denke, das ist Dir ausnahmsweise diesmal recht:
Ich habe mir im *SimSmith* Forum beim Eintreten für Dich und Deine SWR-Formel viel Ablehnung, mindestens aber den Unwillen vieler OMs weltweit zugezogen, die *SimSmith* länger und besser kennen als ich.

Aber: Problem gelöst!

Die Mathematik – um Dich zu zitieren – lügt ja nicht. Weder steht *SimSmith* auf wackeligen Füßen, noch *HamVNAS*. Wir haben nur deshalb aneinander vorbei gesprochen, weil:

1. *HamVNAS* ausschließlich reale Systemimpedanzen zulässt als Eingabe - was sicherlich nicht schlecht ist: Es kann manches Kopfschütteln vermeiden.
2. *SimSmith* allgemeingültig angelegt ist und, anders als *HamVNAS*, auch **komplexe Systemwiderstände** zulässt.
3. Diese Allgemeingültigkeit zu (herkömmlich) unerwarteten Resultaten führt. Dazu gehört, dass man die (für reale Systemwiderstände gewohnte) Denkweise aufgeben muss, dass sich alles nur innerhalb des (auf die ja rein reale Zahl 1 normierten Smith-Diagramm-) Außenkreises abspielen müsse, dass der Betrag von Gamma zwischen 0 ... 1 liegen muss und dass es negative SWR nicht geben kann. Das trifft aber nur zu, solange man es nicht mit komplexen Systemwiderständen zu tun haben will.
4. In Deiner SWR-Herleitung zeigen die Pfeile von Gamma 1 und Gamma2 exakt auf den Punkt zwischen $jX1$ und $jX2$. Dort aber stehen sich komplexe Impedanzen gegenüber.
5. Deine durchaus (für „reale“ Denkweise) gültige Formel dagegen entspricht nicht diesen Pfeilen, sondern berechnet das SWR aus den realen Impedanzen an den Eckpunkten.
6. Die allgemeingültigen „SWR“ und „Gamma“ mag wirklich lästig erscheinen. **Jedenfalls kann ich aus denen nichts Brauchbares entnehmen.** Trotzdem müssen sie (streng mathematisch) m.E. zutreffen.

Ich habe nun Deine Doppel-Zepp (allerdings mit bei John, KN5L vorhandenen CQ-553 Daten und dessen *SimSmith* Modell für „simplified“ Kabel in *SimSmith* verwendet.

Außerdem hat er (mit EZNEC) statt $9,37 -j 1420$ Ohm gefunden: $9,73 -j1450$.

Beides ist fast egal, außer, dass damit nicht $SWR = 10,26$ heraus kommt, sondern $SWR = 18,12$.

Dabei habe ich nun nicht mehr den Speisepunkt (der ja komplexe Impedanzen nach beiden Seiten hat) als Bezug genommen, sondern, Deiner Herleitung entsprechend, nur den Realteil 9.73 Ohm, wie für die energetische Betrachtung nötig. Für dort kommt richtig entsprechend Deiner Herleitung $SWR = 18,12$ heraus.

Das SWR an der tatsächlichen Einspeisestelle dagegen hat streng mathematisch, eine vierstellige, wenig anschauliche Zahl.

Somit – solange man Gleiches mit Gleichem vergleicht – sind sich beide Programme einig.

Es lässt sich darüber nachdenken, ob denn nur reale oder auch komplexe Systemwiderstände die Grundlage bilden sollten.

Wenn man mit komplexen Kabel-Wellenwiderständen und komplexen Antennen-Einspeisepunkt Impedanzen umgehen will, ist die (bisweilen stark irritierende) Allgemeingültigkeit nicht ausschließlich nur schlecht.

Man sollte sich aber nicht verwirren lassen.

Für alle Deine Mühe bedanke ich mich ausdrücklich sehr herzlich.

Du hast mich damit sehr viel weiter gebracht.

73, Hans